



## AUSLEGESCHRIFT 1 124 987

B 44443 VIa/18c

ANMELDETAG: 27. APRIL 1957

BEKANNTMACHUNG  
DER ANMELDUNG  
UND AUSGABE DER

AUSLEGESCHRIFT: 8. MÄRZ 1962

## 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Autofrettage von Rohren, insbesondere von Kanonenrohrrohlingen, mittels eines im Rohrinnen erzeugten, mit zunehmender Entfernung vom Rohreingang abnehmenden hydraulischen Innendruckes.

Dieses Verfahren bewirkt, daß eventuelle Materialfehler in Erscheinung treten und daß, falls man die Elastizitätsgrenze der Festigkeit der inneren Schichten überschreitet, eine bleibende Deformation durch Dehnung dieser Schichten hervorgerufen wird, die sich an die äußeren Schichten andrücken, deren Wirkung dann mit der eines Reifens vergleichbar ist, der durch Warmaufschumpfung stramm auf die inneren Schichten aufgedrückt würde, was in der Bezeichnung Autofrettage zum Ausdruck kommt.

Die so erzielte bleibende Deformation erfährt beim Schießen keine weiteren Veränderungen mehr, da der während des Autofrettageverfahrens erzielte hohe Druck nicht wieder erreicht wird.

Die bei der Autofrettage angewandten Drücke liegen im allgemeinen im Bereich zwischen 3000 und 6000 kg/cm<sup>2</sup>. Bisher verwendete man zur Druckprobe einen Druckübersetzer (Fig. 1), der aus einer hydraulischen Presse 1 besteht, die einen Kolben 2 von kleinem Durchmesser in einen Zylinder 3 drückt, welcher eine Autofrettage- bzw. Prüfflüssigkeit 4 enthält, die zuvor bei mäßigem Druck durch einen Einlaßhahn 5 eingeführt wird.

Diese Flüssigkeit wird über ein Rückschlagventil 6 in ein zu prüfendes Rohr 7 gedrückt, das mit Verschlußstücken 8, 9 abgeschlossen ist. Manometer 10, 11, 12 dienen zur Kontrolle des Verfahrens. Um das in das Rohr 7 einzuführende Flüssigkeitsvolumen zu verringern, füllt man es mit einem oder mehreren Metallstücken 13, 14, 15. Durch einen Entspannungshahn 16 kann man die komprimierte Flüssigkeit bei Beendigung des Verfahrens ablassen.

Bei dem beschriebenen Verfahren benötigt man eine umso stärkere hydraulische Druckübersetzungsanlage, je größer das Volumen der zu armierenden Rohre ist. So benötigt man beispielsweise für großkalibrige Schiffsgeschützrohre mit Innenvolumen der Größenordnung von 1000 l Pressen mit mehreren tausend Tonnen, wobei trotzdem das Verfahren mehrere Male ausgeführt werden muß, da die jedesmal unter Druck in das Rohr eingeführte Flüssigkeitsmenge durch das Volumen des Zylinders 3 gegeben ist und demnach zur Erreichung des gewünschten Drucks mehrere Betätigungen notwendig sind, wobei jedesmal der erzielte Druck durch das Rückschlagventil 6 aufrechterhalten wird.

Verfahren und Vorrichtung  
zur Autofrettage von Rohren,  
insbesondere von Kanonenrohrrohlingen

Anmelder:

James François Emile Basset, Paris

Vertreter: Dipl.-Ing. C. Wallach, Patentanwalt,  
München 2, Kaufingerstr. 8

Beanspruchte Priorität:

Frankreich vom 27. April 1956 (Nr. 713 538)

James François Emile Basset, Paris,  
ist als Erfinder genannt worden

## 2

Der Kolben der Presse 1 und Kolben 2 sind mit Gleitdichtungen versehen, die schnell verschleifen und häufig erneuert werden müssen. Die Wirkungsweise des Ventils 6 führt häufig zu Zwischenfällen, die zum Ausbauen des Teils zwingen.

Schließlich wird das bekannte Verfahren mit einem Druck ausgeführt, der auf der ganzen Länge des Rohres konstant ist, was beträchtliche Überdicken auf der ganzen Länge des Rohres über die Explosionskammer hinaus notwendig macht, da der Maximal-Druck in dieser den Autofrettagedruck bestimmt, der größer als der maximale Schießdruck sein muß.

Bisher bestand keine befriedigende und praktisch durchführbare Möglichkeit, die Autofrettage mit abnehmendem Druck in mehreren Abschnitten durchzuführen. Ein solches Verfahren erfordert dichte Verschlüsse zwischen verschiedenen Längsabschnitten, die dann mit abnehmenden Drücken geprüft werden könnten, wodurch sich am Gewicht der Rohrrohlinge wie an ihren Herstellungskosten beträchtliche Einsparungen erzielen ließen.

Die Erfindung gestattet die Autofrettage von Rohren, insbesondere von Kanonenrohren, so vorzunehmen, daß verschiedene Bereiche mit von der Explosionskammer zur Mündung abnehmenden Drücken geschaffen werden.

Zu diesem Zweck wird das Verfahren der erwähnten

Art in der Weise durchgeführt, daß zur Ausbildung der verschiedenen Druckbereiche das Rohr seiner Länge nach kontinuierlich von einer unter hohem Druck stehenden; bei hohem Druck hochviskosen Flüssigkeit in Richtung Rohrausgang durchflossen wird.

Zweckmäßig wird dabei die Anordnung so getroffen, daß nur ein von der Innenwand des Rohres und konzentrisch im Rohrinneen angeordneter Metalleinsatzblöcke gebildeter ringförmiger Raum von der bei hohen Drücken hochviskosen Flüssigkeit durchflossen wird, wobei durch die Weite des Ringspaltes die örtliche Druckbelastung eingestellt wird.

Fig. 2 zeigt als Ausführungsbeispiel eine Vorrichtung für die Durchführung der Erfindung zur Autofrettage eines Kanonenrohres.

Die Autofrettageflüssigkeit wird kontinuierlich unter hohem Druck von einem Kompressor 16 der erwähnten neuen Bauart geliefert; eine Rohrleitung von hinreichendem Durchgangsquerschnitt (beispielsweise 3 mm Innendurchmesser bei 24 mm Außendurchmesser) verbindet den Kompressor mit dem Eingangsverschlußstück 17. In dieser Leitung ist ein Regelventil 18 zur Begrenzung des Maximaldrucks der aufgestauten Flüssigkeit angeordnet.

Die Förderleistung des Kompressors 16 kann mittels eines zwischen dem Motor 20 und dem Kompressor angeordneten Geschwindigkeitsreglers 19 eingestellt werden, der die Geschwindigkeit und damit die Förderung beispielsweise im Verhältnis 1 zu 6 zu verändern gestattet.

Das Kanonenrohr ist mit massiven Metallblöcken 21, 22, 23, 24, 25 usw. ausgefüllt, zwischen deren Umfängen und der Innenwand des Rohres Spiele  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  usw. bestehen, deren Größe genau bestimmt ist, wie im folgenden beschrieben wird:

Das Mündungsverschlußstück 26 ist mit einem Entspannungshahn 27 mit regelbarem Durchlaß versehen, der von einem Servomotor 28 betätigt wird. Im beschriebenen Beispiel kontrollieren Manometer 29 und 30 den am Eingang bzw. Ausgang herrschenden Druck.

Man hat experimentell festgestellt, daß die Viskosität von Flüssigkeiten mit dem Druck schnell wächst und daß sie bei bestimmten, von der Art der Flüssigkeit abhängigen Drücken ziemlich sprunghaft auf beträchtliche Werte anwachsen kann, wenn der Druck einen Wert erreicht, der einer Änderung des Molekularzustandes der Flüssigkeit oder eines Flüssigkeitsbestandteiles entspricht.

Verwendet man beispielsweise Mischungen von Gasöl und Erdöl, so kann man durch Veränderung des Verhältnisses der beiden Bestandteile Flüssigkeiten erhalten, die bei Drücken von 3000 kg/cm<sup>2</sup> an sehr viskos werden, wenn nämlich der Erdölanteil gering ist, bzw. die gleiche Viskosität erst bei Drücken von 8000 oder 10 000 kg/cm<sup>2</sup> erreichen, wenn der Erdölanteil erhöht wird. Bei Verwendung von Mischungen von Ölen und Erdöl kann man andere Viskositätswerte für einen bestimmten Druck und eine bestimmte Temperatur erzielen, wobei die Temperatur während des Verfahrens möglichst konstant gehalten werden soll.

Komprimiert man nun eine Flüssigkeit unter sehr hohem Druck in einem langen Zylinder mit kleinem Durchmesser und sorgt man für konstanten Abfluß der Flüssigkeit durch einen am anderen Ende angeordneten Entspannungshahn, so stellt man fest,

daß sich entlang des Rohrs beträchtliche Druckunterschiede einstellen und bestehenbleiben. So stellt man beispielsweise in einem Rohr von 3 mm Durchmesser für ein Gemisch von zwei Dritteln Gasöl mit einem Drittel Erdöl fest, daß bei einer Rohrlänge von 4 m und einem Eingangsdruck von 7000 kg/cm<sup>2</sup> der Ausgangsdruck 2500 kg/cm<sup>2</sup> beträgt, d. h. daß die Zähigkeit der Flüssigkeit und deren Reibung an der Rohrwandung einen Druckabfall von 4500 kg/cm<sup>2</sup> hervorrufen. Wählt man in dem in Fig. 2 gezeigten Beispiel die Spiele  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  entsprechend und sorgt man durch den Hahn 27 für Entspannung und kontinuierlichen Ausfluß der bei hohem Druck viskosen, durch den Kompressor 16 kontinuierlich eingedrückten Flüssigkeit, so kann man entlang des Rohres einen von dem Wert  $P_1$  auf den Wert  $P_3$  nach einem vorbestimmten Gesetz abnehmenden Druckverlauf erzielen. Beispielsweise kann der Druck im Bereich der Explosionskammer 21 (Fig. 2) nahezu konstant und gleich  $P_1$  sein, hierauf von  $P_1$  auf  $P_2$  schnell abnehmen, sodann weiter von  $P_2$  auf  $P_3$  abnehmen oder nach irgendeinem anderen Abnahmegezet, das man zwischen dem Druck  $P_1$  und dem Druck  $P_3$  zu verwirklichen wünscht, verlaufen. Zur Einstellung und Aufrechterhaltung dieses Druckabfalls dient nach der Erfindung ein Kontroll- und Steuerorgan 31, dessen Aufbau auf Fig. 3 ersichtlich ist. Auf einen Kolben 32 wirkt der Eingangsdruck  $P_1$ , auf einen Kolben 33 der Ausgangsdruck  $P_3$ . Diese Kolben wirken mechanisch gegensinnig auf einen um eine feste Achse 35 drehbaren zweiarmigen Hebel 34 ein. Ist das Verhältnis der Drücke gleich dem Querschnittsverhältnis der Kolben, so befindet sich das System im Gleichgewicht; ändert sich dieses Verhältnis, so kippt der Hebel in der einen oder der anderen Richtung und steuert über elektrische Kontakte 36, 37 einen Servomotor 28 zum Öffnen oder Schließen der Entspannungsvorrichtung 27 (Fig. 2), die die Entspannung und den Durchlaß der unter Druck stehenden Autofrettageflüssigkeit regelt. Erhöht sich beispielsweise das Verhältnis  $P_1/P_3$  über den vorgegebenen Wert, so wird der Durchlaß verringert; verkleinert sich dieses Verhältnis, so wird der Durchlaß erhöht, bis das Gleichgewicht wiederhergestellt ist.

Federn 38 und 39, deren Druck durch Schrauben 40 und 41 regelbar ist, dienen zur Herstellung des Gleichgewichts des Systems für Druckverhältnisse, die vom Verhältnis der Querschnitte  $P_1/P_3$  der Kolben verschieden sind.

Das gleiche Ergebnis kann man auch dadurch erreichen, daß man die Arme des Hebels 34 verschieden lang macht oder dessen Schwenkachse auf bekannte Art mechanisch verschiebt. So kann man beliebige Verhältnisse der Drücke  $P_1/P_3$  erzielen, wobei die Kolben in diesem Fall gleichen Durchmesser haben können.

Die Kolben 32 und 33 sind in ihren Zylindern sehr genau eingepaßt — so beträgt beispielsweise bei einem Durchmesser dieser Kolben von 3 und 4,3 mm das Spiel etwa  $\frac{2}{1000}$  bis  $\frac{3}{1000}$  mm. Dadurch soll jedes Ausfließen der Autofrettageflüssigkeit infolge eines Spiels vermieden werden. Da Flüssigkeit an den Kolben 32 und 33 möglichst gar nicht oder doch nur in vernachlässigbar geringem Maß ausfließen soll, füllt man vorteilhaft die Zylinder dieser Kolben mit einer unter hohem Druck hochviskosen Flüssigkeit (beispielsweise Rizinusöl) und ordnet an ihrem



Eingang einen Schutzraum 42 (Fig. 4) an, der mit dieser Flüssigkeit gefüllt ist und die von  $P_1$  oder  $P_3$  kommende Autofrettageflüssigkeit aufnimmt. Eine Vermischung der beiden Flüssigkeiten wird durch einen frei beweglichen Trennkolben 43 mit Segmenten oder kreisringförmigen Dichtungen 44 verhindert, wobei der Schutzraum durch eine Öffnung 45 gefüllt werden kann. Die hier beispielshalber beschriebene Ausführung kann mechanisch auch auf andere Weise ausgebildet werden, um dieselbe Wirkung zu erzielen; beispielsweise können die Kolben gegenläufig angeordnet werden.

Die Reibung der Kolben in ihren Zylindern wird völlig ausgeschaltet, wenn man die Kolben ständig leicht um ihre Achse mittels eines kleinen Servomotors 46 schwingen läßt, der einen Exzenternocken 47 trägt, welcher auf zwei mit den Kolben 32, 33 fest verbundene Gabeln 48, 49 wirkt. Kugeldrucklager 50 und 51 dienen zur Kraftübertragung auf den zweiarmigen Hebel und die Einstellfedern 38 und 39.

Für einen bestimmten Kanonenrohrtyp bestimmt man das Gesetz des Druckverlaufs längs des Rohrlings sowie die Spiele  $E_1, E_2, E_3$  experimentell, indem man diese Größen an einem Versuchsprototyp untersucht, der in Zwischenstellungen Druckmeßanzapfungen  $P_4, P_5, P_6$  (Fig. 2) aufweist.

Bei diesen Versuchen bestimmt man gleichzeitig die am besten geeignete Autofrettageflüssigkeit sowie die optimale Fördergeschwindigkeit des Kompressors für den betreffenden Kanonenrohrtyp, wobei jedoch offenbar für eine bestimmte Flüssigkeit ein sehr großer Bereich von Möglichkeiten gegeben ist, da man die Förderleistung nach Wunsch ändern und so auf einfache Weise beispielsweise den Einfluß von Temperaturschwankungen oder kleinere Unterschiede der Rohrabmessungen auf Grund der Fabrikationstoleranzen korrigieren kann; die geregelte Entspannungseinrichtung sorgt automatisch für Konstanz des gewählten Verhältnisses von Eingangs- zu Ausgangsdruck.

Im Hinblick auf die große Viskosität der Flüssigkeiten und darauf, daß die verschiedenen Verbindungsglieder zwischen den einzelnen Apparaten nicht augenblicklich ansprechen, kann man ein oder mehrere regelbare Zeitverzögerungsglieder einschalten, beispielsweise bei 54 (Fig. 2) in die elektrische Steuerleitung zwischen dem Kontroll- und Steuerorgan 31 (Fig. 2) und dem Servomotor 28.

Die hier beispielshalber beschriebene mechanische Kontroll- und Regelanordnung kann durch eine vollelektrische, von elektrischen Manometern 29 und 30 bekannter Art gesteuerte Anordnung ersetzt werden.

In diesem Fall kann der Steuerhebel der Kontakte 36 und 37 (Fig. 3) ein Rahmen mit zwei von den Strömen der elektrischen Manometer gespeisten Wicklungen oder elektromagnetischen Tauchkerne, wie in Fig. 5 beispielshalber angedeutet, sein.

Dabei kann ein sehr großer Variationsbereich des Verhältnisses  $P_1/P_3$  durch einfache Verstellung von Nebenschlußwiderständen 52 und 53 oder mittels anderer bekannter elektrischer Mittel erzielt werden.

Mit diesem Verfahren zur Autofrettage bei abnehmendem Druck lassen sich beträchtliche Einsparungen an Gewicht und an Kosten der Kanonenrohrrohlinge sowie bei den Bearbeitungskosten solcher Rohre erzielen.

## PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Autofrettage von Rohren, insbesondere von Kanonenrohrrohlingen, mittels eines im Rohrinnein erzeugten, mit zunehmender Entfernung vom Rohreingang abnehmenden hydraulischen Innendruckes, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ausbildung der verschiedenen Druckbereiche das Rohr seiner Länge nach kontinuierlich von einer unter hohem Druck stehenden, bei hohem Druck hochviskosen Flüssigkeit in Richtung Rohrausgang durchflossen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß nur ein von der Innenwand des Rohres und konzentrisch im Rohrinnein angeordneter Metalleinsatzblöcke (21 bis 25) gebildeter ringförmiger Raum von der bei hohen Drücken hochviskosen Flüssigkeit durchflossen wird, wobei durch die Weite des Ringspaltes die örtliche Druckbelastung eingestellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Festlegung der Weite des Ringspaltes die Bemessung der Einsatzblöcke an einem mit Druckmeßanzapfungen ( $P_4, P_5, P_6$ ) versehenem Versuchsprototyp bestimmt wird.

4. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zum Einpumpen der Druckflüssigkeit in das zu behandelnde Rohr ein Kompressor (16) dient, in dessen zu dem Rohr führenden Ausgangsleitung ein den Maximaldruck der eingepreßten Flüssigkeit begrenzendes Ventil (18) eingeschaltet ist, und daß dem Antriebsmotor (20) des Kompressors ein die Kompressorleistung in weiten Grenzen, z. B. im Verhältnis 1 : 6, einstellbarer Geschwindigkeitsregler (19) nachgeschaltet ist und daß der Ausgangsverschluß (26) des Rohres mit einem einen regelbaren und kontinuierlichen Abfluß der Druckflüssigkeit gestattenden Entspannungshahn (27) versehen ist und daß zur Regulierung ein mittels eines den Druckunterschied am Rohreingang und Rohrausgang aufrechterhaltenden Regelgerätes (31) gesteuerter Hilfsmotor (28) dient.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder zwei regelbare Zeitverzögerungsglieder (54) z. B. zwischen dem Regelgerät (31) und dem Hilfsmotor (28) angeordnet sind, welche der hohen Viskosität der Flüssigkeit sowie der Trägheit der verschiedenen Verbindungsglieder angepaßt sind (Fig. 2).

6. Vorrichtung nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch ein Regelgerät mit zwei durch den Eingangs- bzw. Ausgangsdruck beaufschlagten Kolben (32, 33), deren Querschnitte im umgekehrten Verhältnis zu den einwirkenden Drücken stehen, wobei jeder Kolben gelenkig mit je einem Ende eines zweiarmigen Steuerhebels (34) verbunden ist, der beim Ansprechen des Gerätes die elektrischen Kontakte (36, 37) zum Einschalten des Hilfsmotors (28) betätigt.

7. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Regelgerät Kolben mit gleichem Querschnitt aufweist und daß diese Kolben gelenkig mit einem zweiarmigen Hebel verbunden sind, dessen Armlängen sich wie die auf die Kolben einwirkenden Drücke verhalten.

8. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Querschnitte der Kolben und/oder die Armlängen der Hebel zu den Drücken in keinem bestimmten Verhältnis stehen und daß über jedem Kolben eine regelbare, das Gleichgewicht bewirkende Feder angeordnet ist. 5

9. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Betätigung der Kontakte (36, 37) des Regelgerätes ein Relais mit zwei von elektrischen Manometern (2, 53) gesteuerten 10 Wicklungen oder elektromagnetischen Tauchkernen dient (Fig. 5).

10. Vorrichtung nach Anspruch 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß in den Zylindern des Regelgerätes, in denen sich die Kolben (32, 33) 15 bewegen, zwischen dem Druckflüssigkeitseintritt und dem Kolben ein Schutzraum (42) angeordnet

ist, der mit einer hochviskosen Flüssigkeit, z. B. Rizinusöl, gefüllt ist, die jedes Ausfließen der aus dem behandelten Rohr kommenden Druckflüssigkeit an den Kolben (32, 33) verhindert, wobei zur Verhinderung der Vermischung der beiden Flüssigkeiten ein freier, mit Segmenten oder Kreisringdichtungen (44) versehener Kolben (43) dient und zum Füllen des Schutzraumes eine besondere Öffnung (45) vorgesehen ist (Fig. 4).

11. Vorrichtung nach Anspruch 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Beseitigung der Reibung der Kolben (32, 33) durch ständiges Schwingen um ihre Achsen ein von einem kleinen Hilfsmotor (46) angetriebener Exzenter (47) dient.

In Betracht gezogene Druckschriften:  
Französische Patentschrift Nr. 602 690.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen



